



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Patentschrift**  
(10) **DE 198 44 746 C 1**

(51) Int. Cl. 7:  
**F 02 D 41/38**  
F 02 M 45/02  
F 02 M 51/00

(21) Aktenzeichen: 198 44 746.9-26  
(22) Anmelddatag: 29. 9. 1998  
(43) Offenlegungstag: -  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 20. 4. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

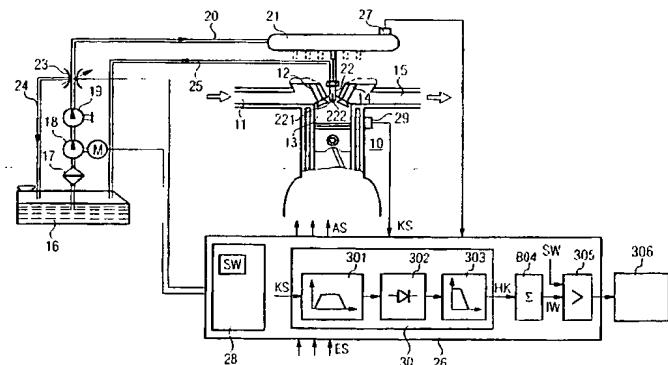
Przymusinski, Achim, 93049 Regensburg, DE;  
Böhnig, Ralf, 69434 Brombach, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 43 12 587 A1  
DE 39 29 747 A1

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Detektieren einer Voreinspritzung bei einer Brennkraftmaschine

(57) Durch Aufnehmen und Auswerten des Schwingungssignals (KS), welches beim Auftreffen der Düsennadel (221) auf den Nadelsitz (222) eines Injektors (22) einer direkteinspritzenden, mit Vor- und Haupteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine (10) auftritt, mittels eines Körperschallsensors (29) an der Zylinderäußenwand wird eine Aussage über das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein der Voreinspritzung in einem Arbeitsspiel getroffen.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Detektieren einer Voreinspritzung bei einer Brennkraftmaschine gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche 1 und 5.

Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung beinhalten ein großes Potential zur Reduktion des Kraftstoffverbrauches bei relativ geringem Schadstoffausstoß. Im Gegensatz zur Saugrohreinspritzung wird bei einer Direkteinspritzung Kraftstoff mit hohem Druck direkt in den Verbrennungsraum eingespritzt.

Hierzu sind Einspritzsysteme mit zentralem Druckspeicher bekannt. In solchen Druckspeichersystemen wird mittels einer Hochdruckpumpe ein von einem elektronischen Steuengerät der Brennkraftmaschine über Drucksensor und Druckregler geregelter Kraftstoffdruck in der Verteilerleitung aufgebaut, der weitgehend unabhängig von Drehzahl und Einspritzmenge zur Verfügung steht. Über einen Injektor mit Magnetventil oder Piezoventil wird der Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt. Dieser erhält seine Signale von dem Steuengerät. Durch die funktionelle Trennung von Druckerzeugung und Einspritzung kann der Einspritzdruck unabhängig vom aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine weitgehend frei gewählt werden.

Das Verbrennungsgeräusch einer mit Direkteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine, insbesondere einer Dieselspülkraftmaschine lässt sich erheblich verringern, wenn die berechnete Kraftstoffmenge nicht auf einmal eingespritzt, sondern auf zwei Einspritzvorgänge pro Zylinderhub verteilt wird. Dabei wird erst eine, bezogen auf die einzuspritzende Gesamtmenge an Kraftstoff kleine Menge, auch als Pilotmenge bezeichnet, während eines Voreinspritzvorganges eingespritzt und nach einer, in der Regel vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine abhängigen Zeitspanne, ausgedrückt in Grad Kurbelwinkel, die Hauptmenge eingespritzt (zB. DE 39 35 937 A1). Damit wird eine Verringerung des Druckgradienten im Brennraum erreicht, wodurch das Geräuschverhalten der Verbrennung und damit der Brennkraftmaschine deutlich verbessert wird.

Aus der DE 43 12 587 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung eines Kraftstoffeinspritzsystems insbesondere einer Hochdruckkraftstoffpumpe bekannt. Ein elektrisch betätigbares Ventil legt die in die Brennkraftmaschine einzuspritzende Kraftstoffmenge fest. In bestimmten Betriebszuständen wird die Totzeit des Kraftstoffeinspritzsystems ermittelt. Zur Ermittlung dieser Totzeit wird die Ansteuerdauer der Voreinspritzung mit definierter Frequenz und Amplitude zeitlich moduliert und ausgehend von einem kleinen Wert, bei dem keine Voreinspritzung erfolgt, erhöht, bis anhand des Ausgangssignals eines Sensors eine erfolgte Voreinspritzung erkannt wird. Als Sensor wird dabei entweder ein Zylinderdrucksensor, ein Körperschallsensor, ein Beschleunigungssensor, ein Schallauftnehmer im Motorraum, ein Motordrehmomentsensor oder ein Drehzahlsensor verwendet.

In der DE 39 29 747 A1 ist ein Verfahren zum Steuern der Kraftstoffeinspritzung bei einer Hochdruckkraftstoffpumpe beschrieben, bei dem wenigstens ein Magnetventil die in die Brennkraftmaschine einzuspritzende Kraftstoffmenge festlegt. Während der Förderphase eines Pumpenelementes wird das Magnetventil derart angesteuert, daß zuerst eine Voreinspritzung und dann eine Haupteinspritzung ausgeführt wird. In bestimmten Betriebszuständen wird die Dauer des Ansteuerpulses für das Magnetventil ermittelt, bei dem gerade die Voreinspritzung einsetzt und davon ausgehend Abgleichsignale für Ansteuerimpulse, die die Voreinspritzung bewirken, gebildet und gespeichert. Die Dauer

der Ansteuerimpulse wird dabei so lange erhöht, bis anhand eines Rückmeldesignals erkannt wird, daß eine Voreinspritzung erfolgt. Als Rückmeldesignal kann dabei eine der Größen Spritzdauer, Elementdruck, Brennraumdruck, Körperschall, Luftschall beziehungsweise ein Lichtsignal im Brennraum verwendet werden.

Bei fehlender Voreinspritzung verschlechtert sich nicht nur das Geräuschverhalten der Brennkraftmaschine, sondern auch die Abgasmissionen werden erhöht.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit dem bzw. mit der auf einfache und kostengünstige Weise der Voreinspritzvorgang bei einer Brennkraftmaschine detektiert werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 bzw. 5 gelöst.

Durch Aufnehmen und Auswerten des Schwingungssignales, welches beim Auftreffen der Düsenadel auf den Nadelstift auftritt, mittels eines Körperschallsensors in Form eines handelsüblichen Klopfsensors an der Zylinderaußenwand

20 kann eine Aussage über das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein der Voreinspritzung in einem Arbeitsspiel getroffen werden. Bei Fehlen der Voreinspritzung wird der Fehler gespeichert, dem Fahrer der Fehler angezeigt und es können Maßnahmen zur Senkung der im Fehlerfall erhöhten Emissionen eingeleitet werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen finden sich in den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsform erläutert. Es zei-

30 gen

**Fig. 1** in schematischer Darstellung eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine mit Hochdruckspeicher und zugehöriger Steuerungseinrichtung,

35 **Fig. 2** Diagramme für den Nadelhubverlauf und des Körperschallsignals in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels mit Voreinspritzung,

**Fig. 3** Diagramme für den Nadelhubverlauf und des Körperschallsignals in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels ohne Voreinspritzung,

40 **Fig. 4** und **5** Diagramme, welche die Bildung der Hüllkurven mit und ohne Voreinspritzung verdeutlichen,

**Fig. 6** die gemeinsame Darstellung beider Hüllkurven des Sensorsignals in einem Diagramm und

45 **Fig. 7** eine Darstellung des Integralwertes der Hüllkurven.

In der **Fig. 1** ist in Form eines Blockschaltbildes das technische Umfeld gezeigt, in dem die Erfindung eingesetzt wird. Dabei sind lediglich diejenigen Teile dargestellt, die für das Verständnis der Erfindung nötig sind. Mit dem Bezugssymbol **10** ist eine Diesel-Brennkraftmaschine bezeichnet, die über eine Ansaugleitung **11** und ein Einlaßventil **12** die zur Verbrennung notwendige Luft zugeführt wird. Ein nicht näher bezeichneter Kolben begrenzt zusammen mit den Zylinderinnenwänden einen Verbrennungsraum **13**. Das Abgas gelangt über ein Auslaßventil **14** in einen Abgaskanal **15**.

Die Kraftstoffversorgungsanlage der Brennkraftmaschine **10** weist einen Kraftstofftank **16** auf, der über einen Kraftstofffilter **17** und einer Vorförderpumpe **18** mit einer Hochdruckpumpe **19** in Verbindung steht, die Kraftstoff in eine Hochdruckleitung **20** mit hohem Druck befördert. Die Hochdruckleitung **20** ist an eine Einspritzleiste **21** angeschlossen, die Injektoren **22** in Form von Einspritzventilen aufweist, die Kraftstoff in die Verbrennungsräume **13** der Brennkraftmaschine **10** einspritzen. Die Einspritzleiste **21** ist vorzugsweise als Hochdruckspeicher ausgebildet. Als Einspritzventil **22** ist dabei ein Piezo-Servo-Injektor vorgesehen, der eine Düsenadel **221** aufweist, die bei nicht akti-

viertem Zustand des Piezoaktors aufgrund des vollen Speicherdrucks an einem Düsensitz 222 anliegt. Der Aufbau und die Funktion eines solchen Piezoinjektors ist allgemein bekannt und beispielsweise in der DE 195 48 526 A1 beschrieben. Anstelle eines Piezoinjektors kann aber auch ein konventioneller Solenoid-Injektor eingesetzt werden, dessen Nadel mittels eines elektromagnetisch betätigten Steuerventils geöffnet und geschlossen wird.

Die Hochdruckleitung 20 weist ein ansteuerbares Druckstellglied 23 auf, das beispielsweise eine regelbare Pumpe oder ein Druckregelventil darstellt und das über eine Leckageleitung 24 mit dem Kraftstofftank 16 in Verbindung steht. Die Injektoren 22 sind an eine zweite Leckageleitung 25 angeschlossen, die ebenfalls zum Kraftstofftank 16 geführt ist. Das Druckstellglied 23 ist über eine nicht näher bezeichnete Ansteuerleitung mit einer elektronischen Steuerungseinrichtung 26 verbunden. Dasselbe gilt für die Vorförderpumpe 18. Die Hochdruckpumpe 19 kann entweder von der Brennkraftmaschine selbst, beispielsweise von der Kurbelwelle oder elektrisch angetrieben werden. Die Steuerungseinrichtung 26 steht zudem mit einem Drucksensor 27 in Verbindung, der an der Einspritzleiste 21 angeordnet ist und den Kraftstoffdruck in der Einspritzleiste 21 und damit den Druck im Hochdruckbereich erfäßt.

Die allgemeine Funktion einer solchen Direkteinspritzanlage mit Hochdruckspeicher ist bekannt und wird deshalb nicht näher ausgeführt.

Die Steuerungseinrichtung 26 hat Zugriff auf einen Speicher 28, in dem u. a. ein Schwellenwert SW abgelegt ist, deren Bedeutung anhand der Beschreibung der Fig. 7 noch näher erläutert wird. An einer Außenwand des nicht näher bezeichneten Zylinderblockes der Brennkraftmaschine 10 ist an geeigneter Stelle ein Körperschallsensor 29 angebracht, der ein Schallsignal, welches durch das Schließen der Düsennadel 221 und das Auftreffen der Düsennadel auf den Nadelstütz 222 des Einspritzventils beim Voreinspritzvorgang detektiert. Dieses Ausgangssignal des Körperschallsensors 29 wird zur Weiterverarbeitung und Auswertung an die Steuerungseinrichtung 26 übertragen. Um bei Brennkraftmaschinen mit 6 oder mehr Zylindern die Genauigkeit und insbesondere die Schnelligkeit (Laufzeit zwischen Auftreten des Geräusches und dem Ort der Detektion) der Geräuscherfassung zu erhöhen, können auch mehrere Körperschallsensoren an entsprechenden Stellen des Motorblockes angeordnet werden.

Die Steuerungseinrichtung 26 weist noch weitere, allgemein bezeichnete Eingänge ES auf, über die Daten der Brennkraftmaschine, die zu deren Betrieb notwendig sind wie z. B. Last- oder Temperatur zugeführt werden. Weitere Ausgangsgrößen der Steuerungseinrichtung zum Ansteuern verschiedener Aktoren sind mit AS bezeichnet.

In der Fig. 2A ist der Nadelhubverlauf der Düsennadel 221 über dem Kurbelwellenwinkel dargestellt, wobei Kraftstoff während einer Voreinspritzung (VE) und einer Haupt einspritzung (HE) direkt in den Brennraum eingespritzt wird. Die Fig. 2B zeigt den zugehörigen Verlauf des Körperschallsignals, wenn die Düsennadel 221 beim Schließenvorgang auf den Nadelstütz 222 auftrifft.

Die Fig. 3A zeigt den Nadelhubverlauf und die Fig. 3B das auftretende Körperschallsignal wenn keine Voreinspritzung, sondern nur eine Haupt einspritzung (HE) stattfindet. In beiden Fällen wird die Haupt einspritzung (HE) beim Kurbelwellenwinkel 0° (oberer Totpunkt) ausgelöst.

Das mittels des Klopfsensors gemessene Körperschallsignal ist mechanischen Ursprungs und stimmt nicht von der Verbrennung der voreingespritzten Kraftstoffmasse, sondern ist auf das schlagartige Zurückfallen der Düsennadel in den Nadelstütz zurückzuführen.

Im folgenden wird das Verfahren der Detektion der Voreinspritzung beispielhaft für eine Brennkraftmaschine in einem Betriebspunkt bei einer Drehzahl von 1500 U/min und einer Kraftstoffeinspritzmenge von 25 mg/Hub dargestellt.

- 5 Das Verfahren basiert auf einer Hüllkurvenbildung des Geräusch-Rohsignals, welches direkt vom Klopfsensor 29 aufgenommen wird. Hierzu wird das Ausgangssignal KS des Klopfsensors 29 einer Auswerteschaltung 30 zugeführt, die in die Steuerungseinrichtung 26 integriert ist. Sie weist einen Bandpaß 301 auf, mit dem der für die Detektion des Injektorgeräusches relevante Frequenzbereich aus dem Schwingungssignal gefiltert wird. Diesen Frequenzbereich erhält man durch Vergleich der Leistungsdichtespektren zweier Arbeitsspiele. Bei einem Arbeitsspiel wurde normal voreingespritzt, beim anderen hat man die Voreinspritzung abgeschaltet. Für die Bildung des Leistungsdichtespektrum wird nur der für die Voreinspritzung relevante Zeitbereich (Fensterung) betrachtet.
- 10 Anschließend wird mittels eines Gleichrichters 302 eine Gleichrichtung des gefilterten Signals durchgeführt. Dieses gleichgerichtete Signal wird danach mit einem Tiefpaß 303 geringer Grenzfrequenz gefiltert. So erhält man die Hüllkurve HK des Signals KS. Bei dem beschriebenen Beispiel der Auswerteschaltung 30 wird ein Bandpaß mit Grenzfrequenzen bei 7 kHz und 15 kHz verwendet. Als Gleichrichter dient ein Absolutglied, das die negativen Signalaanteile nach oben (positiver Quadrant) klappt. Der Tiefpaß, der die Hüllkurve erzeugt, arbeitet mit einer Grenzfrequenz von 2 kHz.
- 15 Die Signalverläufe des Rohsignals KS, sowie am Ausgang der einzelnen Filter 301, 302 und 303 sind in den Fig. 4 und 5 dargestellt, wobei die Fig. 4A bis 4C die Verhältnisse bei einer Haupt- und Voreinspritzung und die Fig. 5A bis 5C die Verhältnisse bei einem Einspritzvorgang nur mit Haupeinspritzung zeigen.
- 20 In der Fig. 6 sind abhängig vom Kurbelwellenwinkel beide Hüllkurven zum Vergleich eingezeichnet. Die durchgezogene Linie ergibt sich mit Voreinspritzung, die gestrichelte Linie ergibt sich, wenn keine Voreinspritzung stattfindet. Relevant für die Unterscheidung der Hüllkurven ist jedoch nur der Bereich vom Soll-Beginn der Voreinspritzung bis zum Beginn der Haupeinspritzung. Dieser, in Grad Kurbelwellenwinkel angegebene Bereich, auch als Meßfenster KWM bezeichnet, ist in der Fig. 6 ebenfalls eingetragen. Aus dieser Darstellung sieht man, daß bei Fehlen der Voreinspritzung zu Zeiten vor dem oberen Totpunkt (0° Kurbelwellenwinkel) keine oder nur vernachlässigbar kleine Signalaanteile vorhanden sind.
- 25 Als Entscheidungskriterium, ob während eines Arbeitsspieles in einem Zylinder eine Voreinspritzung stattgefunden hat oder nicht, wird die Fläche unter der Hüllkurve im oben genannten Meßfenster KWM ausgewertet. Hierzu wird das Signal Hüllkurve HK einem Integator 304 zugeführt, der die Fläche unter der Hüllkurve HK berechnet und als Integralwert IW ausgibt.
- 30 In Fig. 7 ist eine vergleichende Betrachtung der Flächen unter der Hüllkurve während der Voreinspritzung, d. h. zu Zeiten innerhalb des Meßfensters KWM dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt dabei den Verlauf des Integralwertes IW und entsprechend den Flächeninhalts bei fehlender Voreinspritzung in Abhängigkeit des Kurbelwellenwinkels an. Die durchgezogene Linie hingegen gibt den Verlauf für ein Arbeitsspiel mit Voreinspritzung an.
- 35 Der Integralwert IW wird an einen Eingang eines Vergleichers 305 geführt, der diesen Wert mit dem gespeicherten Schwellenwert SW vergleicht. Liegt der Integralwert IW oberhalb des Schwellenwertes SW, so wird auf eine stattgefundenen Voreinspritzung geschlossen, andernfalls erfolgt ein Eintrag in einen Fehlerspeicher 306 und der Fehler dem

uführer optisch und/oder akustisch angezeigt. Verfahren und die Vorrichtung wurde an einem Beispiel, bei dem die Auswerteschaltung für das vom Schallsensor gelieferte Signal in der Steuerungseinrichtung der Brennkraftmaschine erfolgt. Für die praktische Anwendung dieses Verfahrens eignet sich aber auch ein Sensor, bei dem die Auswerteschaltung integriert ist. Solcher Klopfsensor, der bei Otto-Brennkraftmaschinen im Rahmen der Klopffregelung verwendet wird, ist beispielsweise der Klopf-IC ATM 40 der Firma Siemens. 10

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren einer Voreinspritzung bei einer mit Direkteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine (10), bei der Kraftstoff aufgeteilt in einen Voreinspritzvorgang (VE) und einen Haupt einspritzvorgang (HE) mittels mindestens eines, einer Düsen nadel (221) und einem der Düsen nadel zugeordneten Nadelsitz (222) aufweisenden Injektors (22) zugeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die von der Düsen nadel (221) beim Auftreffen derselben auf den Nadelsitz (222) erzeugten Schwingungssignale (KS) mittels eines Körperschallsensors (29) innerhalb eines Meßfensters (KWM) erfaßt werden und in Abhängigkeit der Intensität des erfaßten Schwingungssignales (KS) ein Kriterium (IW) abgeleitet wird, ob eine Voreinspritzung (VE) stattgefunden hat oder nicht. 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
  - das Schwingungssignal (KS) gleichgerichtet wird und für das gleichgerichtete Schwingungssignal eine Hüllkurve (HK) gebildet wird,
  - die Fläche (IW) unter der Hüllkurve (HK) ermittelt wird und mit einem vorgegebenen Schwellenwert (SW) verglichen wird und
  - bei Überschreiten des Schwellenwertes (SW) auf eine stattgefundene Voreinspritzung (VE) geschlossen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreiten des Schwellenwertes (SW) ein Eintrag in einen Fehlerspeicher (306) erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreiten des Schwellenwertes (SW) der Fehler dem Führer des mit der Brennkraftmaschine (10) ausgestatteten Fahrzeuges optisch und/oder akustisch angezeigt wird.
5. Vorrichtung zum Detektieren einer Voreinspritzung bei einer mit Direkteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine (10), mit mindestens einem, einer Düsen nadel (221) und einem der Düsen nadel zugeordneten Nadelsitz (222) aufweisenden Injektor (22) zum Zu messen von Kraftstoff aufgeteilt in einen Voreinspritzvorgang (VE) und einen Haupt einspritzvorgang (HE), gekennzeichnet durch
  - einen an der Brennkraftmaschine (10) angeordneten Körperschallsensor (29) zum Aufnehmen der von der Düsen nadel (221) beim Auftreffen derselben auf den Nadelsitz (222) erzeugten Schwingungssignale (KS),
  - eine Auswerteschaltung (30) zum Erzeugen der Hüllkurve (HK) des Schwingungssignales (KS),
  - eine Berechnungseinrichtung (304) zum Berechnen der Fläche (IW) unter der Hüllkurve (HK),
  - eine Vergleichseinrichtung (305) zum Vergleichen der berechneten Fläche (IW) mit einem Schwellenwert (SW),

– eine Einrichtung (300) zeigt einen Fehlers wenn der Schwellenwert (SW) unterschritten wird.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (30), die Berechnungseinrichtung (304) und die Vergleichseinrichtung (305) in einer den Betrieb der Brennkraftmaschine (10) steuernden Steuerungseinrichtung (26) enthalten sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (30) und die Berechnungseinrichtung (304) im Körperschallsensor (29) enthalten sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5–7, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung (30) einen Bandpaß (301) zum Filtern der Schwingungssignale (KS), einen Gleichrichter (302) zum Gleichrichten des gefilterten Schwingungssignals (KS) und einen Tiefpaß (303) zum Erzeugen der Hüllkurve (HK) enthält.

9. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnungseinrichtung (304) einen Integrator enthält, der die Fläche (IW) unter der Hüllkurve (HK) berechnet.
10. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Körperschallsensor (29) als ein nach dem piezoelektrischen Prinzip arbeitender Klopfsensor ausgebildet ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

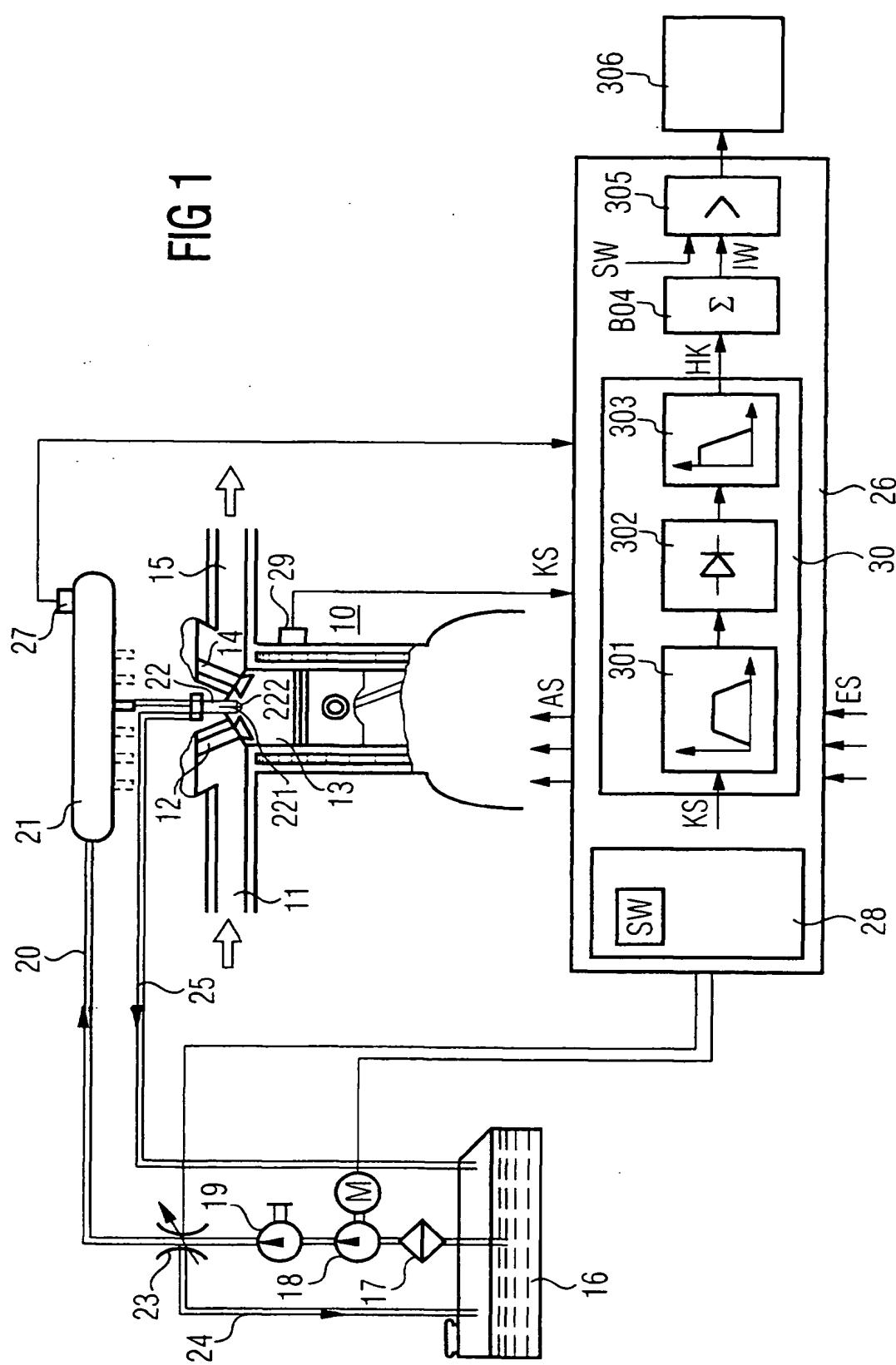


FIG 2A

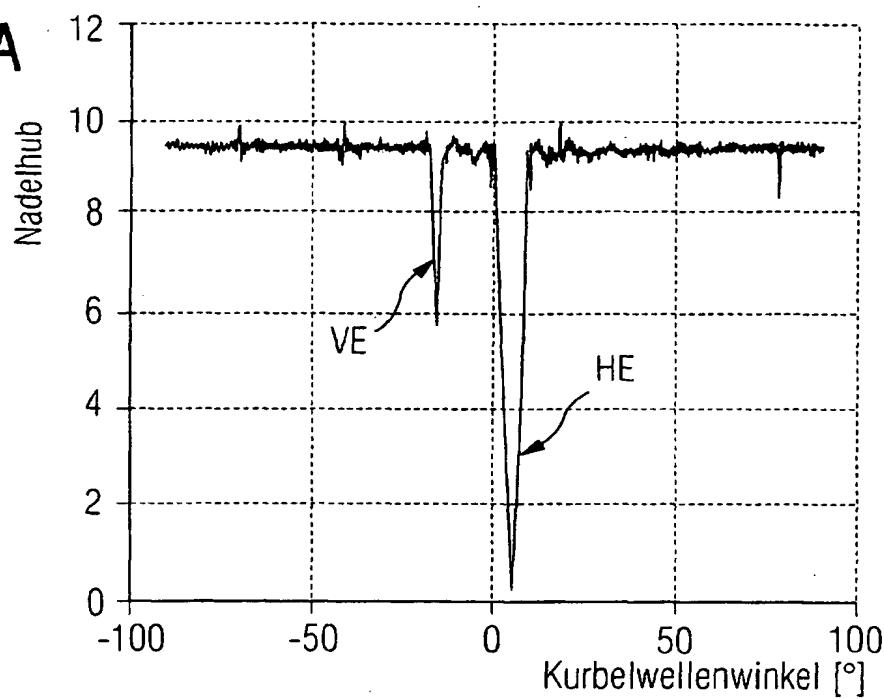


FIG 2B

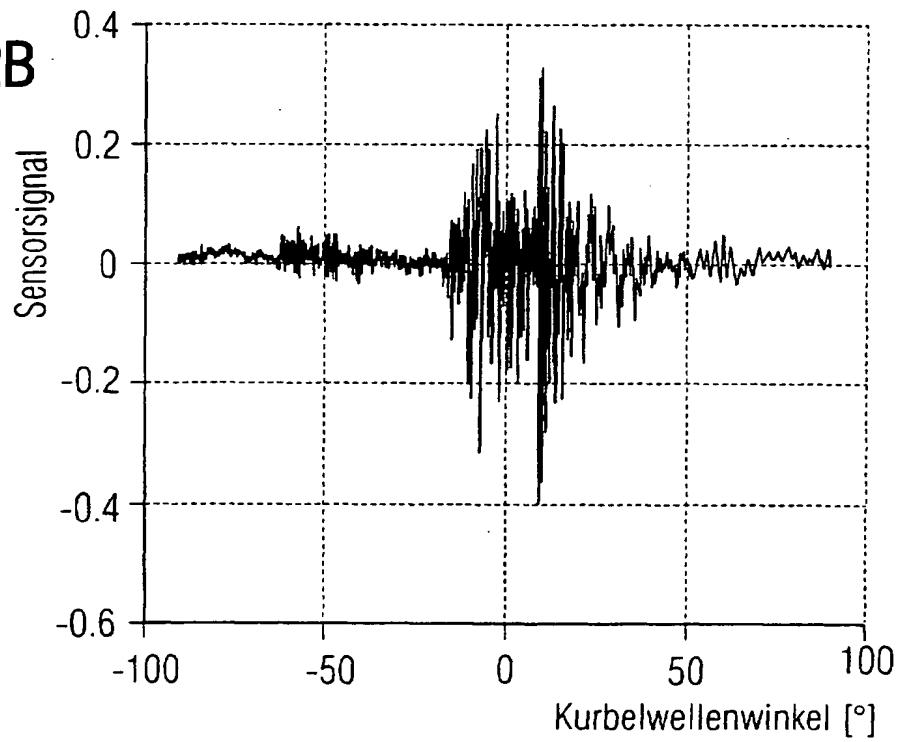


FIG 3A

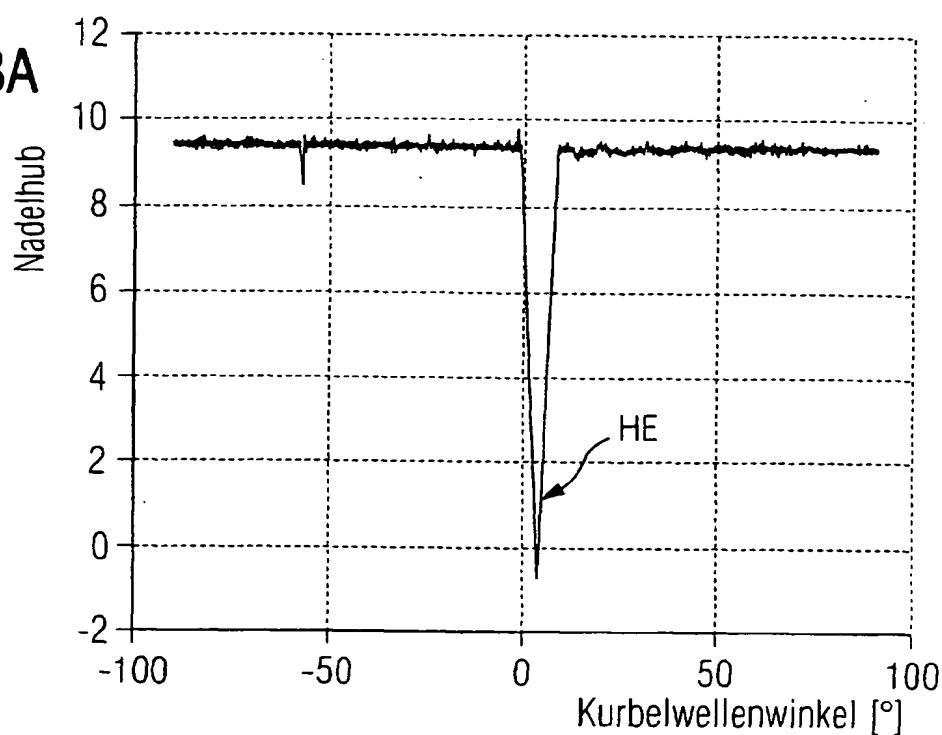


FIG 3B

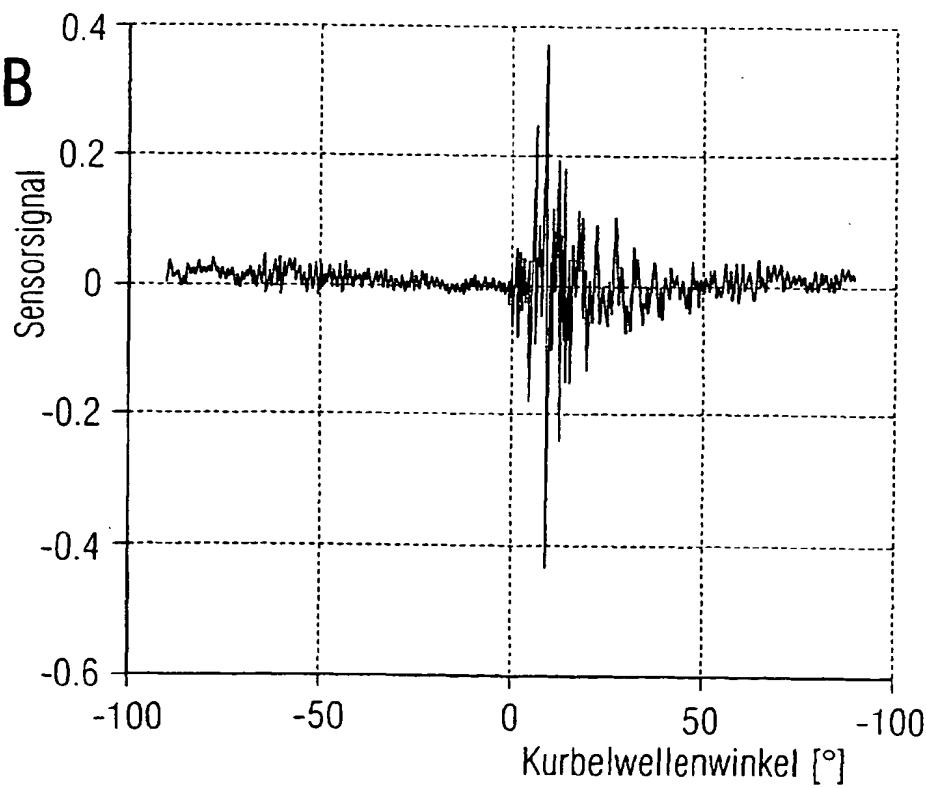


FIG 4A

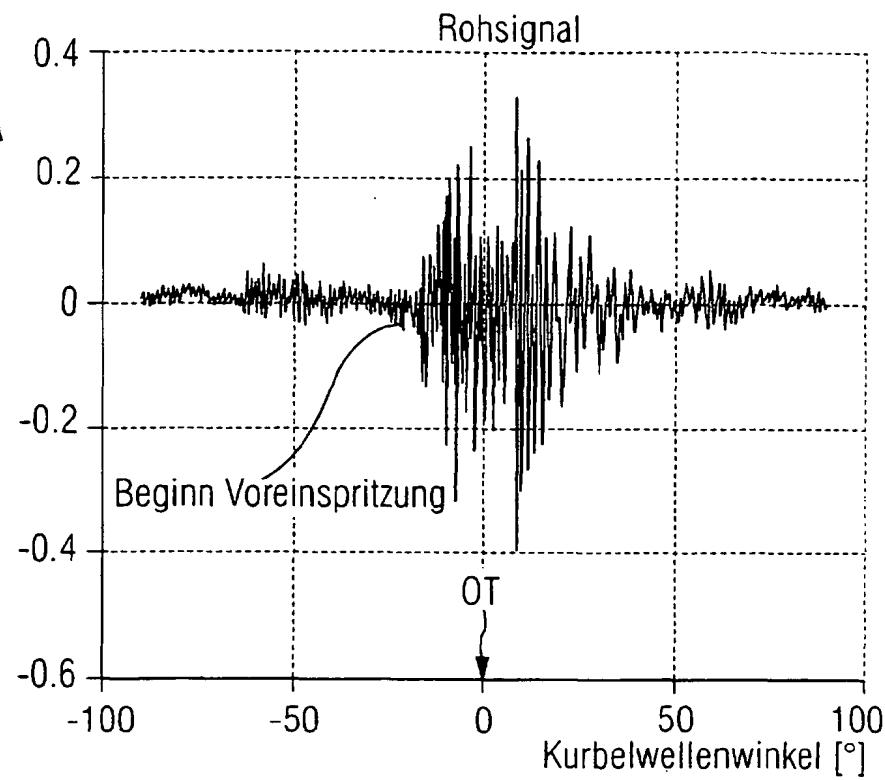


FIG 4B

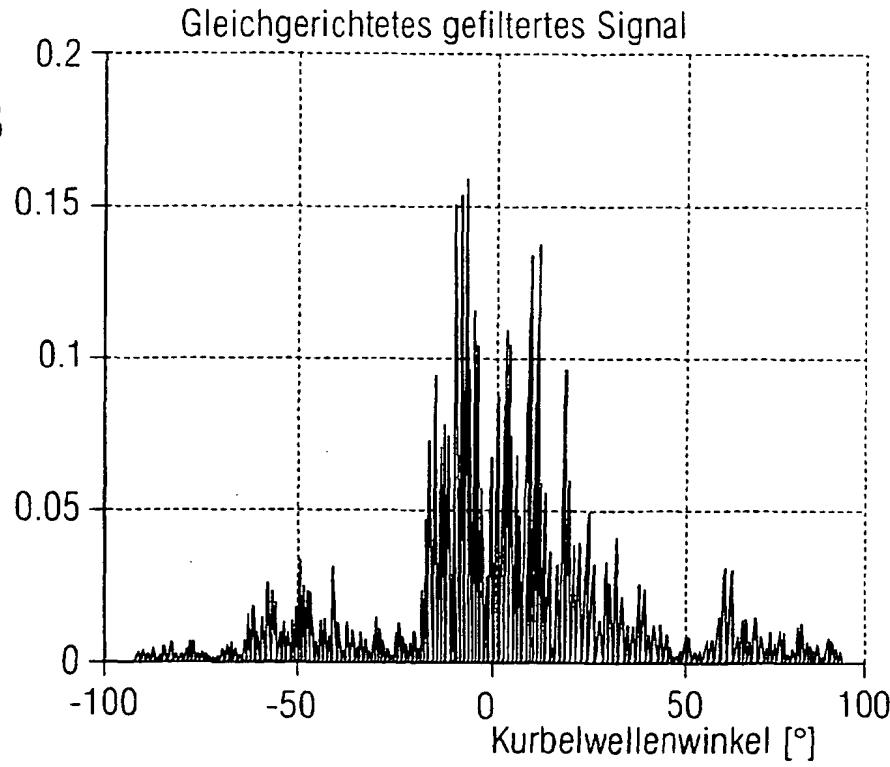


FIG 4C

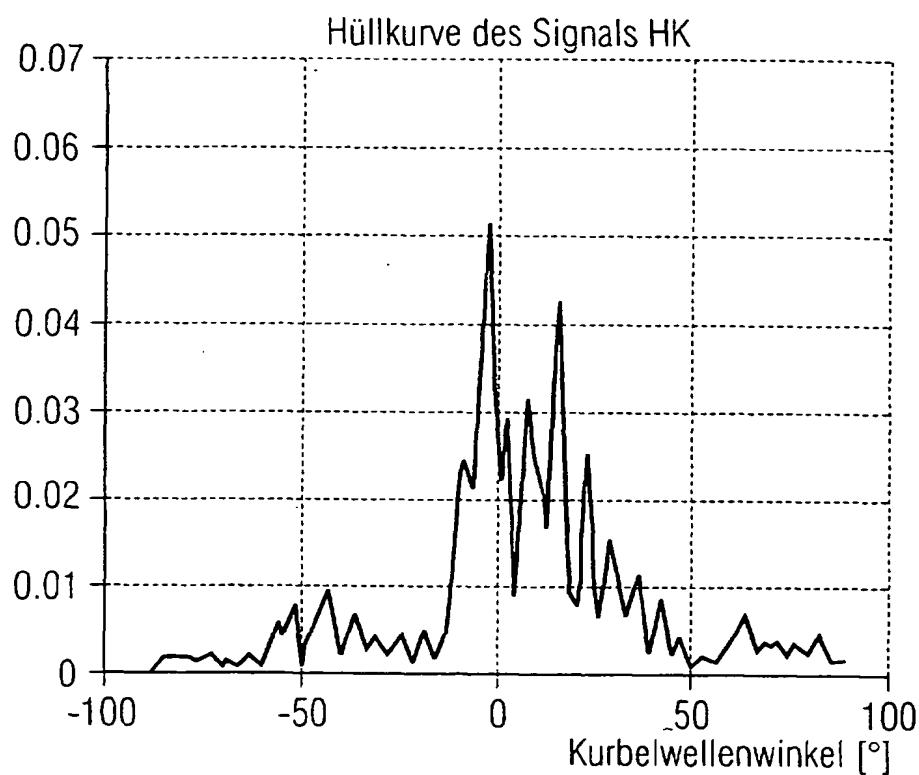


FIG 5A

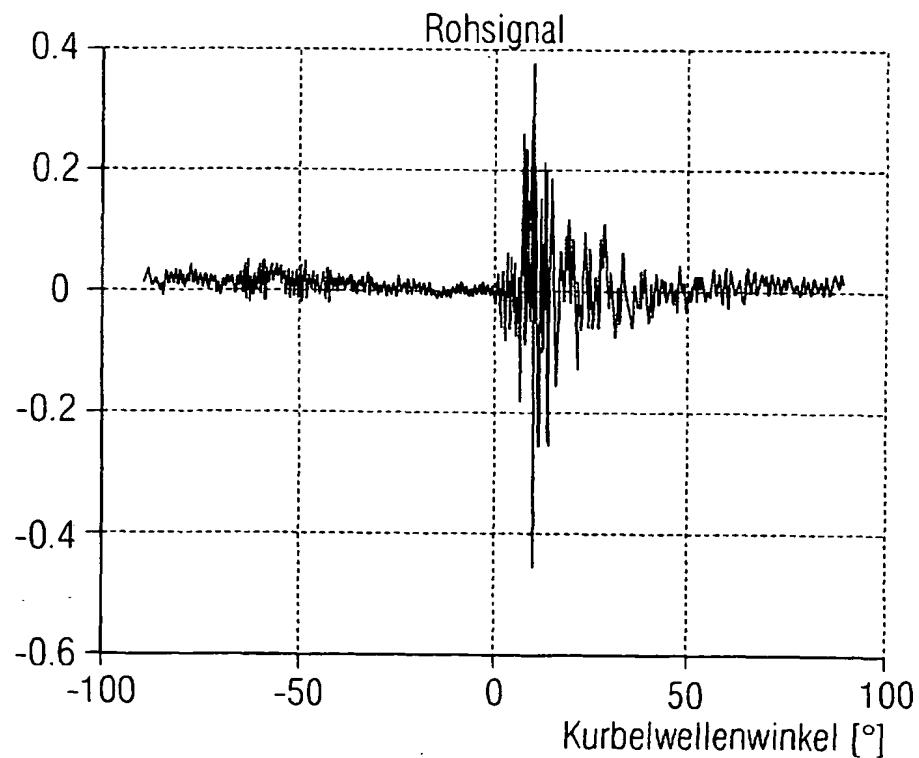


FIG 5B

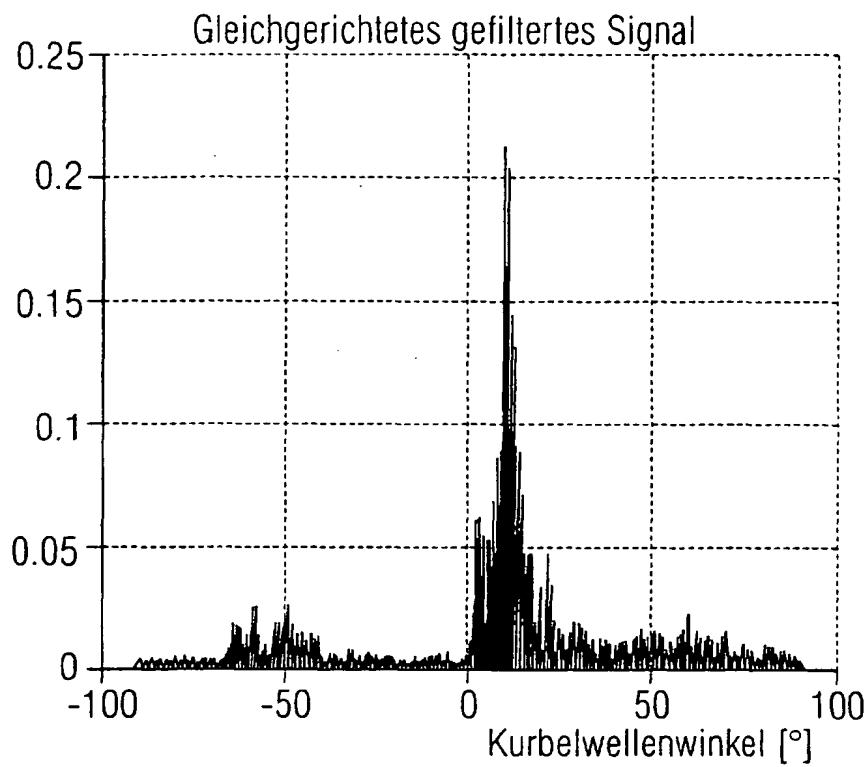


FIG 5C

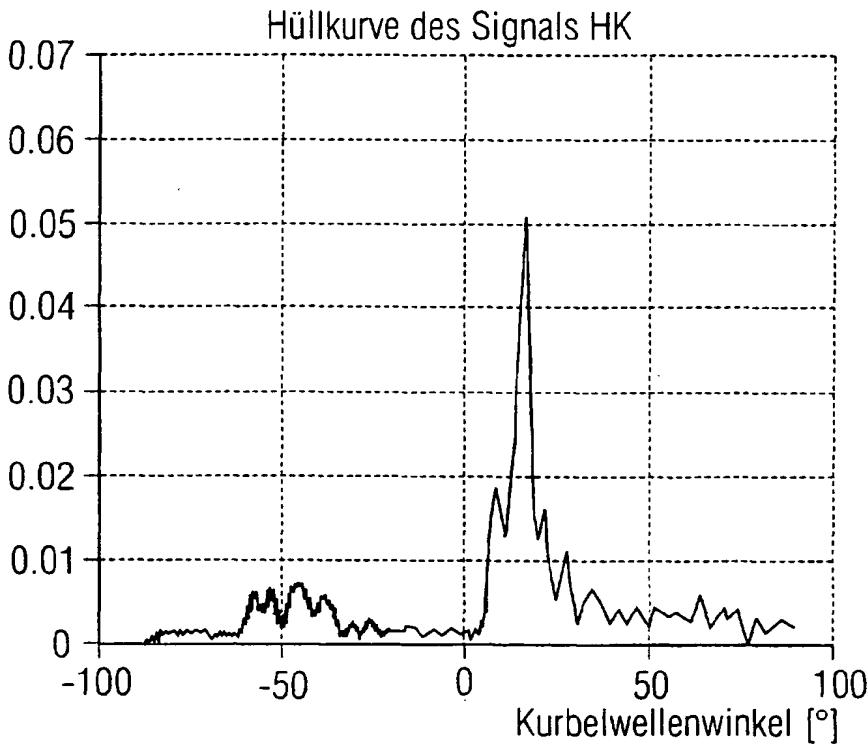


FIG 6

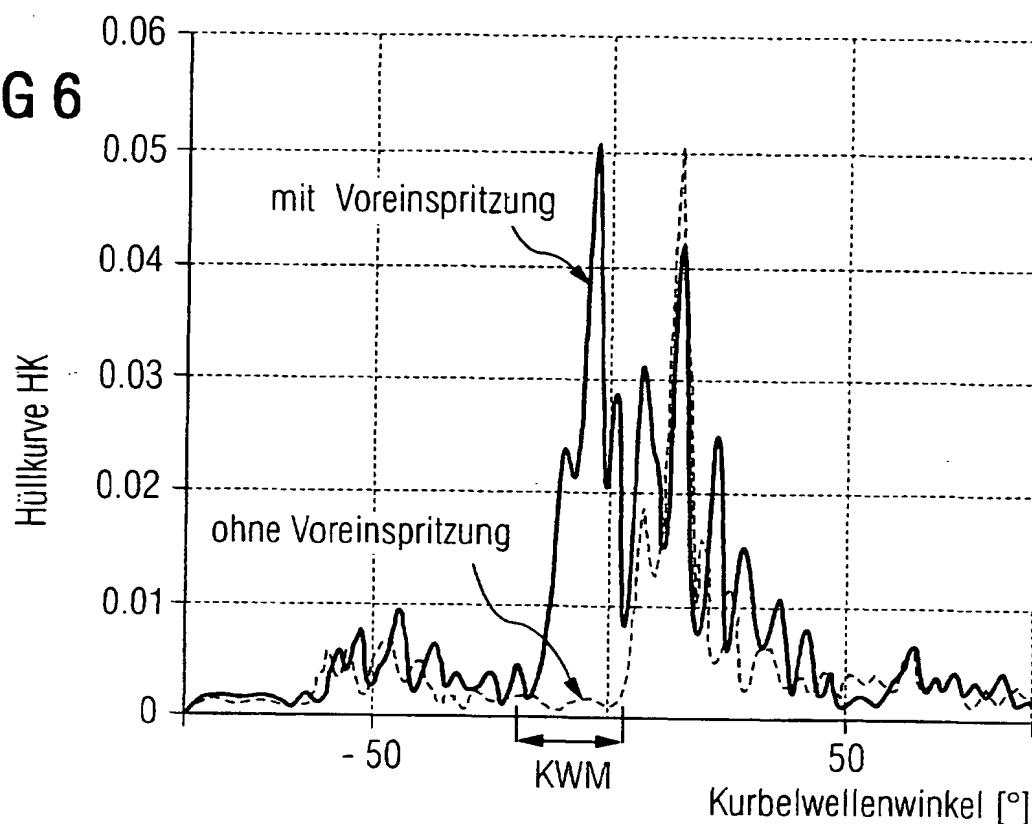


FIG 7

